

**BOX N° 3:****Tendencias climáticas recientes en el Altiplano / Recent climatic trends in the Altiplano**

Stefan Hunziker

Se ha informado de cambios climáticos desde regiones de todo el mundo (*IPCC, 2013*). Debido a que el clima de año a año es modulado por varios ciclos climáticos, solo hablamos de tendencias si los cambios se pueden detectar en escalas de tiempo prolongadas, como varias décadas. En

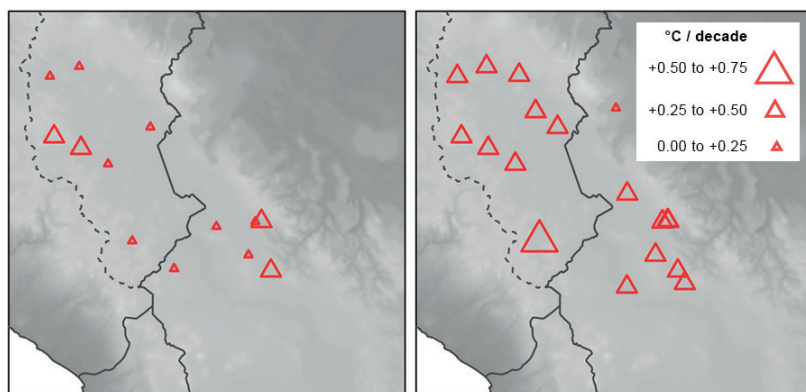
escala donde el aire frío puede acumularse durante la noche. Debido a las diferencias en el número de días con heladas en diferentes sitios de observación en el Altiplano, las tendencias de la frecuencia de días con helada no son espacialmente consistentes (figura B-2). Sin

embargo, una gran mayoría de los registros de estación muestran una disminución de la ocurrencia de días con heladas. Como resultado, se observa una señal de tendencia promedio clara de -6.5 días por década.

En general, la precipitación es más variable en el espacio y el tiempo que la temperatura, y por tanto las tendencias observadas en la región del Altiplano varían considerablemente. Sin embargo, casi todos los registros observacionales indican tendencias negativas para las cantidades de precipitación acumuladas

anualmente (figura B-3), lo que resulta en una tendencia promedio de -34 mm por década.

Tal vez la consecuencia más evidente de los cambios climáticos en la región del Altiplano es el fuerte retroceso observado de los glaciares. Mientras que las temperaturas más altas aumentan la fusión de los glaciares, una reducción de la precipitación (*i.e.*, nevada) disminuye la formación de hielo. Este proceso ya ha llevado a la desaparición de algunos glaciares como el emblemático Chacaltaya. Una disminución adicional de los glaciares andinos significa una reducción del reservorio natural que suministra agua al Altiplano, especialmente durante la estación seca (*Soruco et al., 2017*). Las proyecciones climáticas sugieren un mayor calentamiento en el Altiplano durante las próximas décadas (*Seth et al., 2010*). Este calentamiento, en conjunto con la disminución proyectada en la precipitación, podría producir un aumento en el estrés hídrico en la región. Este hecho, más un crecimiento de la población, podría llevar a un aumento en los problemas de suministro de agua, poniendo aún más presión sobre los habitantes de la región del Altiplano.



**B-1** Tendencias de temperatura anual mínima (izquierda) y máxima (derecha), en °C por década, para el período 1981-2010. Se observan tendencias positivas para todos los sitios de observación analizados en el Altiplano.

Trends for annual means of minimum temperature (left) and maximum temperature (right) in °C per decade for the 1981-2010 period. Positive trends are observed for all stations analyzed in the Altiplano.

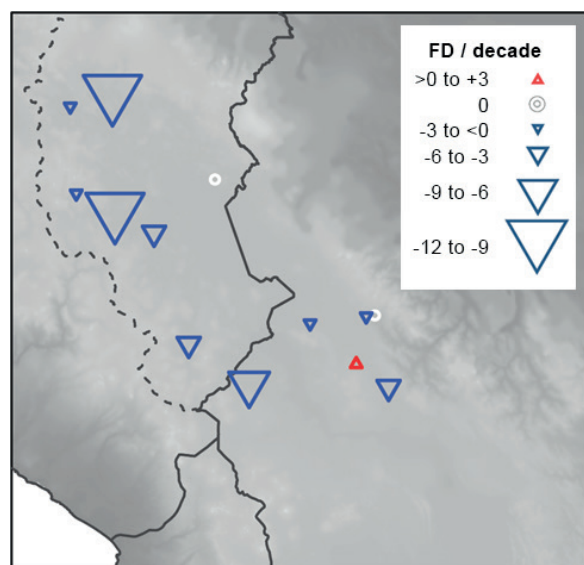
el Altiplano se observaron fuertes alteraciones climáticas particularmente entre 1981 y 2010. De hecho, los análisis de tendencias con datos de temperatura de estaciones con al menos 80% de mediciones válidas en este período indican un calentamiento (figura B-1). En promedio, se calcula una tendencia positiva estadísticamente significativa de +0.22°C (con una incertidumbre de 0.07°C) por década para la temperatura mínima, y para la temperatura máxima se observa un calentamiento aún más fuerte con una tendencia promedio estadísticamente significativa de +0.40°C (con una incertidumbre de 0.10°C) por década. Estas tendencias son claras, fuertes y se observan en toda la región de estudio.

La tendencia positiva observada en las temperaturas mínimas también afecta la ocurrencia de días con heladas (FD) cuando las temperaturas caen por debajo de 0°C. Estas bajas temperaturas dependen también de la topografía local. Por ejemplo, la ocurrencia de días con helada se ve favorecida por elevaciones más altas y por lugares específicos, como depresiones topográficas de pequeña



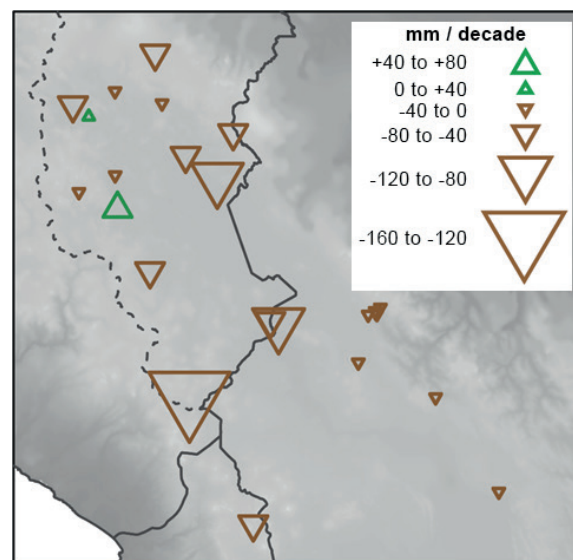
Climatic changes have been reported from regions all over the world (*IPCC, 2013*). Because the year-to-year climate is modulated by various climate cycles, we only speak about trends if changes can be detected on long time scales such as several decades. In the Altiplano, strong climate alterations were particularly observed between 1981 and 2010. In fact, trend analyses with temperature data from stations with at least 80% of valid measurements in this period indicate a warming (figure B-1). On average, a statistically significant positive trend of  $+0.22^{\circ}\text{C}$  (with an uncertainty of  $0.07^{\circ}\text{C}$ ) per decade is computed for minimum temperature, and for maximum temperature an even stronger warming is observed with a statistically significant average trend of  $+0.40^{\circ}\text{C}$  (with an uncertainty of  $0.10^{\circ}\text{C}$ ) per decade. These trends are clear, strong, and are observed in the entire region of study.

The positive trend observed in minimum temperatures also affects the occurrence of frost days (FD) when temperatures drop below  $0^{\circ}\text{C}$ . These low temperatures depend also on local topography. For instance, the occurrence of frost days is favored by higher elevations and by specific locations such as small-scale topographic depressions where cold air can accumulate at night. Because of the differences in the number of frost days at different observation sites in the Altiplano, trends of the frost day



**B-2** Tendencias en el conteo anual de días con heladas (FD) por década para el período 1981-2010. Los triángulos rojos apuntando hacia arriba indican un incremento de días con heladas, mientras que los triángulos azules apuntando hacia abajo muestran una reducción de la ocurrencia de días con heladas.

Trends in the annual count of frost days (FD) per decade for the 1981-2010 period. Red triangles pointing upward indicate an increase of frost days, whereas blue triangles pointing downward show a decrease of frost days occurrence.



**B-3** Tendencias de precipitación anual en milímetros por década para el período 1981-2010. Los triángulos hacia arriba indican un incremento de precipitación, mientras que los triángulos hacia abajo denotan una reducción de la precipitación.

Trends for annual precipitation in millimeter per decade for the 1981-2010 period. Green triangles pointing upward indicate a precipitation increase, whereas brown triangles pointing downward show a precipitation decrease.

frequency are not spatially consistent (figure B-2). Nevertheless, a great majority of station records shows a decrease of frost day occurrence. As a result, a clear average trend signal of  $-6.5$  days per decade is observed.

Precipitation is more variable in space and time than temperature, and therefore trends observed in the Altiplano region vary considerably. Nevertheless, nearly all observational records indicate negative trends for annually accumulated precipitation amounts (figure B-3), resulting in an average trend of  $-34$  mm per decade.

Perhaps the most evident consequence of climate changes in the Altiplano region is the currently observed strong glacier retreat. While higher temperatures increase glacier melting, reduced precipitation (*i.e.* snowfall) decreases ice formation. This process has already led to the disappearance of some glaciers like the emblematic Chacaltaya. A further decrease of the Andean glaciers means a reduction of the natural reservoir that provides water to the Altiplano especially during the dry season (*Soruco et al., 2017*). Climate projections suggest further warming in the Altiplano during the decades to come (*Seth et al., 2010*). This warming, in conjunction with the projected decrease in precipitation, could produce an increase in hydric stress on the region. This fact plus a population growth could lead to increased water supply problems putting even more pressure on the inhabitants of the Altiplano region.